

## 断路器智能综合控制装置关键技术的研究

孙一航<sup>1</sup>, 武建文<sup>1</sup>, 孔祥军<sup>2</sup>, 廉世军<sup>3</sup>, 张路明<sup>3</sup>

(1. 北京航空航天大学, 北京 100191; 2. 中国电力科学研究院, 北京 100192;

3. 珠海市可利电气有限公司, 珠海 519085)

**摘要:** 针对断路器智能保护的特点, 笔者主要进行了断路器智能综合控制装置关键技术的研究。搭建了系统的软硬件平台。重点介绍了基于耐热量降低原理的反时限保护及切断终端故障用户的分界开关功能, 并对技术要点和难点进行解释说明。此外, 对提高配电系统供电可靠性的方法理论进行介绍, 利用开合断路器时序的变化, 完成故障用户隔离闭锁、非故障区段正常供电。利用液晶屏幕实现故障信息现场查看, 通过 USB 接口及工业 RS485 总线通讯接口搭载 Modbus 协议实现与其他保护装置及上位机之间通讯, 此外还利用 GSM 通信模块实现超远距离控制分合闸及故障信息及时反馈, 实现信息网络化, 为智能化电网提供设备支持。

**关键词:** 断路器; 分界开关; 隔离闭锁; 反时限; GSM; Modbus

**中图分类号:** TM56      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-1609(2013)03-0001-07

### Key Technologies of Intelligent Integrated Controller of Circuit Breaker

SUN Yi-hang<sup>1</sup>, WU Jian-wen<sup>1</sup>, KONG Xiang-jun<sup>2</sup>, LIAN Shi-jun<sup>3</sup>, ZHANG Lu-ming<sup>3</sup>

(1. Beihang University, Beijing 100191, China; 2. Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China;

3. Zhuhai Keli Electrical Co., Ltd., Zhuhai 519085, China)

**Abstract:** Key technologies for intelligent integrated controller of circuit breaker are studied with regard to the characteristics of intelligent protection of circuit breaker. Focuses are laid on the inverse-time protection based on the principle of thermal resistance reduction and the boundary switch function for cutting off the terminal user in fault, and the relative techniques are discussed in detail. The theory of enhancing reliability of power distribution is introduced. Therefore, isolation of the user in fault and resumption of normal power supply in the non-fault section are realized by making use of temporal variation of opening and closing circuit breaker. The controller communicates with other protection devices or PCs through USB interface or industrial RS485 bus communication interface with protocol Modbus. In addition, GSM communication modules are used for ultra-remote control of opening and closing switch and timely feedback of fault information. The intelligent integrated controller of circuit breaker may provide a support to information networking and intelligent grid.

**Key words:** circuit breaker; boundary switch; isolation; inverse time; GSM; Modbus

## 0 引言

国家电网公司提出“2020 年全面建成坚强的智能电网”的目标, 智能电网建设将是中国电网未来几

年发展的主要方向<sup>[1-2]</sup>。作为智能电网的重要环节, 智能变电站已成为变电站自动化系统领域研究的热点<sup>[3]</sup>。随着国家经济的快速发展, 用电负荷的高速增长, 中压电网对断路器的性能要求也随之增加, 从而对断路器智能综合控制装置的功能要求

收稿日期: 2012-10-22; 修回日期: 2012-11-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51177004)。

Project Supported by National Natural Science Foundation of China(51177004).

也在逐步增加。

## 1 研究的内容及其必要性

随着电力系统的发展,对高压设备的智能化提出了高要求,作为智能化一部分的高压设备的在线监测近年来已成为行业内的研究热点之一<sup>[4]</sup>。当电力系统一次设备发生故障时,所配置的保护应该动作跳开相关的断路器,将故障设备从系统中切除,使停电范围尽可能小,以维持系统健全部分的正常运行<sup>[5]</sup>。12 kV 配电网终端用户变电站、环网系统进线开关柜、户内外环网柜及箱式变电站进线开关柜通常都采用断路器保护,通常断路器微机保护装置采用前后台系统结构<sup>[6-7]</sup>。目前,断路器控制器多能实现采样精度和动作保护的基本功能,但是供电部门和用户都需要功能更为强大的新型断路器智能综合控制器,对控制器要求不但要具有采样和动作保护等基本功能还需要更多扩展功能,例如:在含有架空输电线路时,为去除瞬时性故障,要求装置具有自动重合闸功能;实现在野外无人区域实现远程控制,实现闭锁信号自动输出功能和密码保证控制器的安全,实现多路开关量输出等。同时,随着配电自动化、楼宇自动化的发展,要求开关柜具有“四遥”功能。

文中除了完成断路器的基本保护功能和部分扩展功能外,还具有分界开关功能<sup>[8]</sup>。在传统的城市配电网中,使用跌落式熔断器也称令克开关作为电网和用户或分接小支网的“分界保护开关”<sup>[9]</sup>,随着城市建设的电网容量不断增加,以前使用的跌落式熔断器已经无法适应在配电网中继续使用。如原来配跌落式熔断器做分界开关的用户在出现线路故障后,使用铜线替代跌落式熔断器的熔丝自行投退强行送电造成的故障区域扩大,增加区域性停电的时间和次数,危及操作人员人身安全,为此研究了以断路器为核心的新型带有闭锁装置和分界开关功能的智能综合保护装置,当投入分界开关功能时能实现无电流切断、隔离故障用户、锁定投退权限,实现故障区域切除、非故障区域正常供电,进一步适应了当前配电网终端用户的需求<sup>[10]</sup>。

## 2 硬件平台

硬件系统见图 1,系统选择的微处理器是 Freescale 公司的 MC9S12XDP512 双核高性能 16 位单片机,这款单片机的特点是具有丰富的 I/O 口,16 位定时器系统、两个 8 通道的 10 位 A/D 转换器、8 K 空间的 EEPROM、32 K 空间的 RAM 以及 512 K 的 Flash<sup>[11]</sup>。该芯片是面向工业应用而设计的,具有良好

的数据采集和状态监测能力,可以实现多路开关量的输入输出和高精度的模拟量采集,实现人机交互和通信功能,它具有能满足工业现场使用要求的可靠性和稳定性。

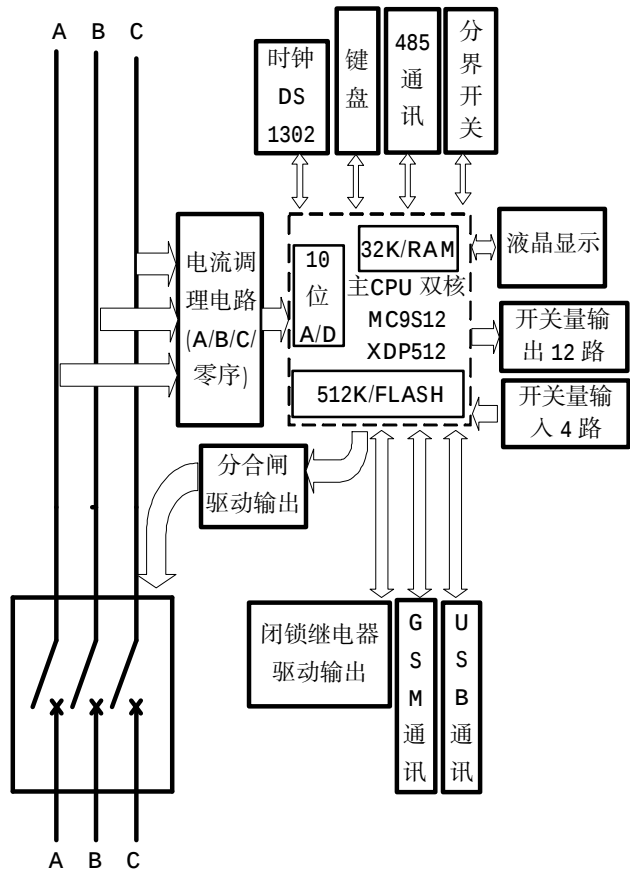


图 1 系统硬件结构图

Fig. 1 Hardware system

文中采用了单片机集成的片内 10 位 A/D 进行数据采集,利用液晶和键盘实现人机交互功能<sup>[12]</sup>。采用了四路开关量输入,即手推车位置、分合闸状态、闭锁信号输入、零序故障侧判断信号等。开关量输出方面,除了指示灯及分合闸状态等一系列的开关量输出外,还预留了 2 路开关量输出,用于功能扩展。此外,采用了多种通讯方式并搭载了 Modbus 协议,加强了设备通讯的通用范围,使设备更具通用性。

通常情况下,保护的线路故障电流要求能够达到 20 倍过流,并且对电流的采样精度也有 5% 的限制,文中所采用的处理器 MC9S12XDP512 提供的是两个 8 通道的 10 位精度的 A/D 转换器,显然单通道 A/D 采样是无法同时满足采样倍数和采样精度的要求,为此笔者采用一种双精度放大电路来解决这个问题。要满足 5% 的采样精度,故障电流最小值(即 1 倍过流值)的采样值至少需要 8 位( $2^8=256$ ,采样精度为  $1/256$ ),如果采用单通道采样,20 倍过流

的采样值则需要 12 到 13 位, 显然微处理器 MC9S12XDP512 不能满足。文中参考了程序控制放大器的思想, 设计出如图 2 所示的双精度放大电路, 通过增加采样通道来提高采样精度, 满足了采样倍数和采样精度的双重要求。

同时, 由于 A/D 转换器不能采样负值, 为降低成本同时使电路简单, 采用抬高电压 2.5 V 的方式

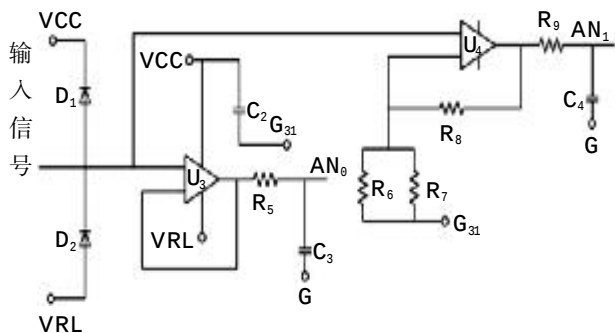


图 2 系统采样原理图

Fig. 2 Current sampling

代替绝对值电路和符号位电路, 来实现模拟负值采样, 其原理图见图 3, 抬高电压示意图见图 4, 即将电流的零点提高到 2.5 V, 单片机采样电压为 5 V, 这样 2.5 V 以下的电压即为模拟负电压, 单片机就能正常采样‘负值’, 但是 A/D 的采样位数也相应降低到了 9 位。

采样时, 利用双精度放大电路, 即“A/D 转换通

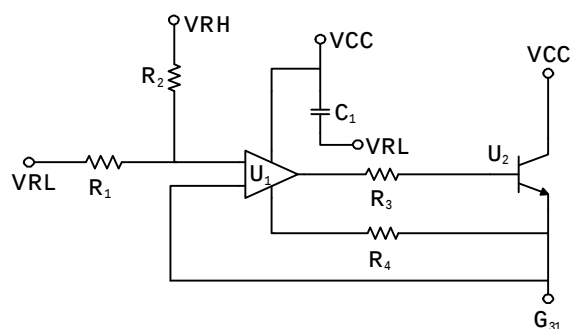


图 3 抬高基准电压原理图

Fig. 3 The principle of raise voltage

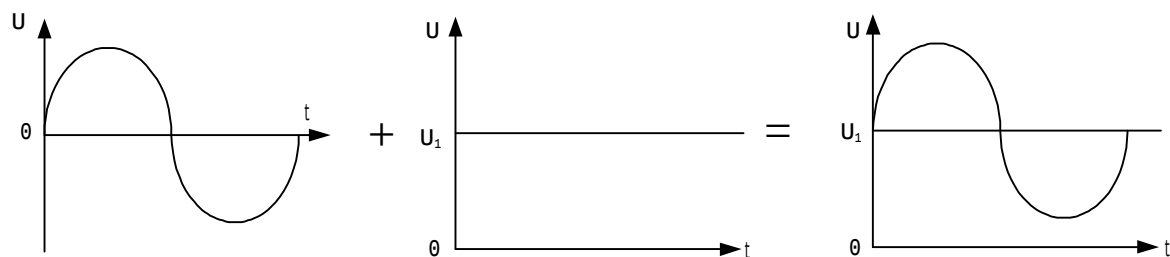


图 4 抬高基准电压示意图

Fig. 4 DC boost waveform

道 1”(如图 2 所示 AN<sub>0</sub>)和“A/D 转换通道 2”(如图 2 所示 AN<sub>1</sub>)进行采样。故障电流值越大采样值越大, 20 倍过流对应的采样值是 9 位 A/D 的最大采样值 512(0200 号), 它是由双精度放大电路中的“AN<sub>1</sub>”采样的, “AN<sub>1</sub>”采样 1 倍过流的采样值为 26(0019 号), 显然不能满足要求。按照采样精度的要求, 1 倍过流经过 A 倍放大后, 由“AN<sub>0</sub>”采样的采样值至少应该达到 100, 从而可以得出  $A=100/26 \approx 4$  是放大倍数的最小值。以 2 倍过流对应的采样值为“AN<sub>0</sub>”采样的最大采样值 512(0200 号), 1 倍过流经过放大后的采样值至少应该达到 256, 从而可以得出  $A=256/26 \approx 10$  为放大倍数的最大值。

为实现采样电流低值精度处理及微处理器的二进制运算, 放大倍数选择 2 的三次方, 即放大 8 倍。20 倍过流 “AN<sub>1</sub>”对应的采样值为  $512 \times 8 = 4096$ , “AN<sub>0</sub>”采样的最大采样值 512(0200 号)对应的采样倍数为  $20 \times 512 / 4096 = 2.5$ 。这样故障电流较小时(1~2.5 倍)就可从“AN<sub>0</sub>”读取高精度的采样值。

在该设计中, 采用了抬高电压和双重放大的方法来满足控制器采样及采样精度的要求, 这样比常规的绝对值电路或双电源的采样方法更稳定, 更具有经济效益。

### 3 软件系统

通常微机继电保护装置的软件设计采用前后台系统结构<sup>[13]</sup>。CPU 内部程序流程图见图 5, 采样电流通过故障判断、数据显示、故障信息处理、通讯等环节, 从而进行系统综合的数据处理。

该研究装置可以用于断路器保护功能和分界开关功能, 当用于分界开关功能时, 检测到供电用户侧发生短路故障并被上级断路器断开后, 立即切断并闭锁分界开关, 这时只有供电部门可以开锁并重新送电, 防止用户自行投人, 导致故障扩大。如果没有电流则分界开关断开(分界开关不能断开电流), 并且闭锁, 此时终端用户发生的是永久性故障。如果终端用户是瞬时性故障时, 断路器会在短时间内判断

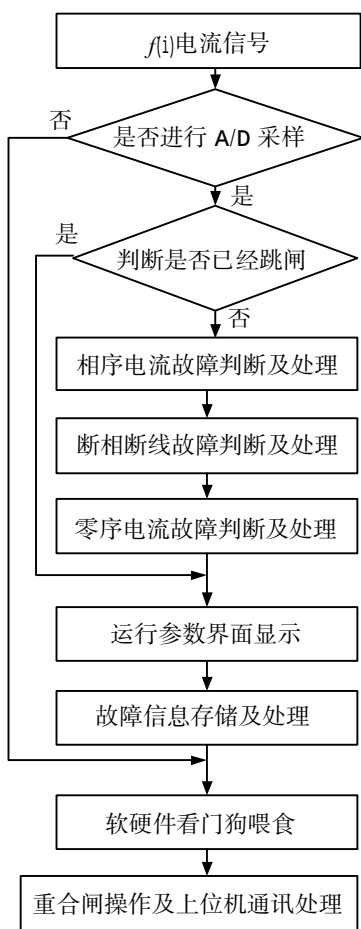


图 5 CPU 数据处理流程图

Fig. 5 CPU data processing

并闭合,此时分界开关没有动作<sup>[14]</sup>。

文中装置用于分界开关功能时的软件程序流程图见图 6,当确定故障发生时,检测连续的 1 个 10 s 之内有没有连续的 1 s 电流一直为零的情况,如果有则等待 20 s 再重新检测 1 个连续的 20 s 之内有没有连续的 1 s 内电流为零的情况,如果有则跳闸闭锁,之所以检测两次是因为要确保本次故障为永久

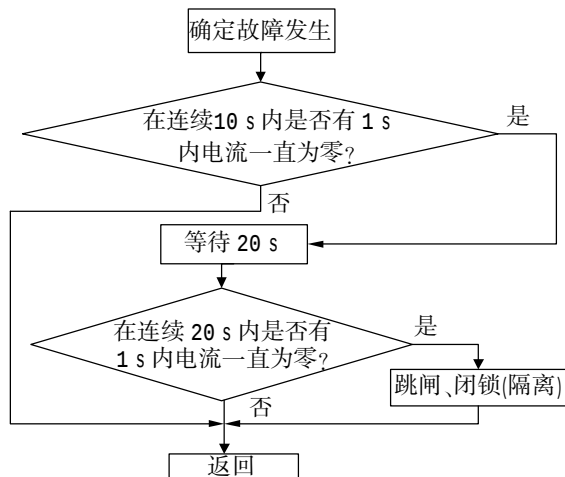


图 6 分界开关功能流程图

Fig. 6 Boundary switch process

性故障,防止对瞬时性故障误操作。

分界开关具有分隔故障区域的功能,在配电环节中,能有效地去除终端故障用户,防止故障扩大,在目前配电行业是一个新的开发研究领域。

相序电流保护分为:三段定时限电流保护和基于耐热量降低原理的反时限电流保护<sup>[15]</sup>。该方法与传统的反时限处理算法<sup>[16-18]</sup>相比,具有处理过程无需乘除法运算、速度快、精度的特点。

文中重点介绍反时限保护,目前关于反时限继电器的标准有 2 种:IEC 255-3—1989 和 IEEE Std C37.112—1996,IEEE Std C37.112—1996 标准主要是针对北美的微机保护,目前国内应用较多的是 IEC 255-3—1989 标准。

IEC 255-3—1989 规定了以下反时限标准方程,一般反时限(SI)的标准方程为

$$t = \frac{0.14}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^{0.02} - 1} \times \frac{T_p}{10} \quad (1)$$

非常反时限(VI)的标准方程为

$$t = \frac{13.5}{\frac{I}{I_p} - 1} \times \frac{T_p}{10} \quad (2)$$

极度反时限(EI)的标准方程为

$$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^2 - 1} \times \frac{T_p}{10} \quad (3)$$

式(1)-(3)中: $t$ 为动作时间,s; $I$ 为故障电流,A; $T_p$ 为时间整定值,s; $I_p$ 为电流整定值,A。

当取不同的  $T_p$  值时,以上 3 种反时限标准方程可有不同族的延时曲线,但根据  $T_p$  值来区分不同族曲线的意义不直观,难以理解。文中采用了一种等效的曲线来代替,可直观地说明曲线和电流及时间的关系。

分析式(1)-(3)可得,3 条曲线的电流整定值方便统一,3 条曲线都可将  $I/I_p$  视为过流倍数来计算延时时间,而时间整定值  $T_p$  对于 3 条曲线则无法直接统一,为此文中将常用的 10 倍过流对应的延时时间值  $t_{PII}$  设定为时间常数整定值,这样不仅将 3 条曲线统一起来,也使得时间常数整定值更具直观意义。至此,当用户选择使用反时限处理相电流故障时,可以根据需要直接选择过流倍数和 10 倍过流的延时时间(即时间常数整定值  $t_{PII}$ )。

3 个标准方程的时间整定值  $T_p$  和相应的  $t_{PII}$  关系分别推导如下:

$$\text{对于式(1), } t_{PII} = \frac{0.14}{10^{0.02} - 1} \times \frac{T_p}{10}, \text{ 整理得}$$

$$T_p=(10^{0.02}-1)\times 10\times t_{pII}/0.14=3.366t_{pII} \quad (4)$$

对于式(2),  $t_{pII}=\frac{13.5}{10^{-1}}\times\frac{T_p}{10}$ , 整理得

$$T_p=(10^{-1})\times 10\times t_{pII}/13.5=6.667t_{pII} \quad (5)$$

对于式(3),  $t_{pII}=\frac{80}{10^{-2}-1}\times\frac{T_p}{10}$ , 整理得

$$T_p=(10^2-1)\times 10\times t_{pII}/80=12.375t_{pII} \quad (6)$$

将式(4)-(6)分别代入式(1)-(3)得出新的反时限特性方程。

一般反时限(SI)

$$t=\frac{0.047}{(\frac{I}{I_p})^{0.02}-1}t_{pII} \quad (7)$$

非常反时限(VI)

$$t=\frac{9}{(\frac{I}{I_p})-1}t_{pII} \quad (8)$$

极度反时限(EI)

$$t=\frac{99}{(\frac{I}{I_p})^2-1}t_{pII} \quad (9)$$

基于耐热量降低原理的反时限电流保护, 此方法计及整个故障过程的过流程度, 能够比较全面地实现反时限特性曲线, 并且提出了另一种故障切除的判断条件, 即以被保护对象累计的热量是否大于其自身所能承受的热量作为判断条件。文中称之为“有效热功率法”, 单位时间内产生的热量和消耗的热量之差为“有效热功率”, 它反映了单位时间内被保护对象有效的热量积累, 在反时限特性曲线中, 有效热功率与故障电流相对应, 故障电流越大有效热功率越大, 故障电流越小有效热功率从也就越小。在“有效功率法”的实际应用中, CPU 可以通过定时器中断方式实现等时间间隔  $\Delta t$ 。经实验, 运用“有效功率法”实现反时限特性曲线完全符合精度要求, 其软件流程图见图 7<sup>[19]</sup>。

从图 7 中可以看出, 运用“有效热功率法”实现反时限特性曲线, 关键需要设定 3 个变量: X 值、Y 值  $\Delta t$ 。当有故障电流时, 首先根据故障电流的大小可求得一个 X 值, 如果采样电流值大于电流阈值, 则根据采样电流计算得出 Y 值, 进行 X-Y 语句, 即热量与消耗之差。当耐热量 X 值小于 0 时, 说明故障延时已到, 切除故障, 完成保护。

#### 4 试验结果及数据分析

试验数据见表 1-6。

经试验该控制器所有数据都能满足开关行业标准, 并且该控制器的性能及电磁兼容性通过了检通

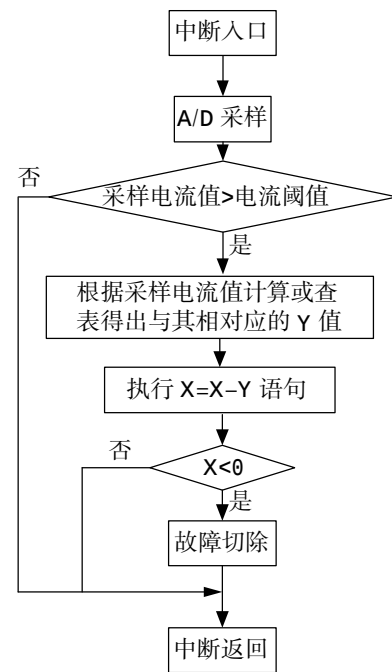


图 7 “有效功率法”的软件流程图

Fig. 7 Effective power law process

表 1 相序反时限试验数据

Tab. 1 Phase sequence inverse time test data

| 电流设定/A | 施加电流/A | 理论值/s | 延时时间/s | 误差/% |
|--------|--------|-------|--------|------|
| 5      | 10     | 33.74 | 34.22  | 1.42 |
|        | 12     | 26.67 | 26.96  | 1.09 |
|        | 15     | 21.20 | 21.65  | 2.12 |
|        | 18     | 18.15 | 18.59  | 2.42 |
|        | 20     | 16.75 | 17.19  | 2.63 |

表 2 相序定时限试验数据

Tab. 2 Phase sequence test data

| 相别 | 整定值/A  | 动作值/A   | 误差/%   |
|----|--------|---------|--------|
| A  | 0.400  | 0.420   | 5.000  |
|    | 5.000  | 4.960   | -0.800 |
|    | 99.990 | 104.200 | 4.210  |
| B  | 0.400  | 0.417   | 4.250  |
|    | 5.000  | 4.940   | -1.200 |
|    | 99.990 | 102.600 | 2.610  |
| C  | 0.400  | 0.415   | 3.750  |
|    | 5.000  | 4.980   | -0.400 |
|    | 99.990 | 102.900 | 2.910  |

表 3 零序定时限试验数据

Tab. 3 Zero sequence test data

| 整定值/A | 动作值/A | 误差/% |
|-------|-------|------|
| 0.10  | 0.14  | 4.00 |
| 1.00  | 1.02  | 2.00 |
| 9.99  | 10.30 | 3.10 |

表 4 零序动作及延时时间试验数据

Tab. 4 Action of the zero sequence

| 整定值/s | 动作及延时时间/s | 误差/% |
|-------|-----------|------|
| 1     | 1.033 60  | 3.36 |
| 2     | 2.062 20  | 3.11 |
| 3 600 | 3 684.01  | 2.33 |

表 5 相序动作及延时时间试验数据

Tab. 5 Action of the phase sequence

| 整定值/s | 动作及延时时间/s | 误差      |
|-------|-----------|---------|
| 0     | 0.034 1   | -       |
| 1     | 1.029 7   | 29.7 ms |
| 80    | 82.000 0  | 2.50%   |

表 6 断相保护试验数据

Tab. 6 Phase-lack fault test data

| 整定值/s | 延时时间/s   | 误差/% |
|-------|----------|------|
| 2     | 2.087 3  | 4.36 |
| 5     | 5.150 0  | 3.00 |
| 10    | 10.280 0 | 2.80 |

过了安全检验和电磁兼容检验,为合格,已经应用于变电站。

## 5 结语

文中主要进行了断路器智能综合控制装置的关键技术的研究,阐述了硬件平台和软件平台的搭建。重点介绍了基于耐热量降低原理的反时限保护及切断终端故障用户的分界开关功能,对技术要点和难点进行说明。对提高配电系统供电可靠性的方法理论进行介绍,利用开合断路器时序的变化,完成故障用户隔离闭锁、非故障区段正常供电。最后,采用通信网络及多种通讯方式与上位机互联,超远距离控制断路器分合闸和故障信息传输,实现信息网络化,为智能化电网提供技术支持。

## 参考文献:

- [1] 李兴源,魏巍,王渝红.坚强智能电网发展技术的研究[J].电力系统保护与控制,2009,37(17):1-7.  
LI Xing-yuan,WEI Wei,WANG Yu-hong.Study on the development and technology of strong smart grid[J]. Power System Protection and Control,2009,37(17):1-7.
- [2] 肖世杰.构建中国智能电网技术思考[J].电力系统自动化,2009,32(9):1-5.  
XIAO Shi-jie.Consideration of technology for constructing Chinese smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems,2009,32(9):1-5.
- [3] 蔡月明,李惠宇,何胜利.智能开关控制装置关键技术研究[J].电力系统保护与控制,2011,39(11):129-132.  
CAI Yue-ming,LI Hui-yu,HE Sheng-li. Key technology research of intelligent switchgear's control device[J]. Power System Protection and Control,2011,39(11):129-132.
- [4] 王鹏,张军,余泳,等.一种新型断路器电寿命在线监测系统[J].电力系统自动化,2009,33(17):109-112.  
WANG Peng,ZHANG Jun,YU Yong,et al.A new circuit breaker electrical life-time monitoring system[J]. Automation of Electric Power Systems,2009,33(17):109-112.
- [5] 郭文鑫,文福栓,廖志伟,等.计及保护和断路器误动与拒动的电力系统故障诊断解析模型[J].电力系统自动化,2009,33(24):6-10.  
GUO Wen-xin,WEN Fu-shuan,LIAO Zhi-wei,et al.An analytic model for power system fault diagnosis with malfunction of protective relays[J]. Automation of Electric Power System,2009,33(24):6-10.
- [6] 武建文,黄毕尧,张少渤,等.终端用户开关柜多功能微机保护装置[J].高压电器,2006,42(6):410-412.  
WU Jian-wen,HUANG Bi-yao,ZHANG Shao-bo,et al. Multifunctional microcontroller-based protection unit for switchgear of terminal users[J]. High Voltage Apparatus,2006,42(6):410-412.
- [7] 张壬寅,夏锦胜.基于DSP平台的中低压微机保护装置[J].电力自动化设备,2005,25(9):80-83.  
ZHANG Ren-yin,XIA Jin-sheng. Research on DSP-based protective device for mid/low-voltage power system[J]. Electric Power Automation Equipment,2005,25(9):80-83.
- [8] 武建文,孙一航,张路明,等.一种具有故障区间隔离的断路器控制器[P].中国专利:201110104084.X,2011-08-31.  
WU Jian-wen,SUN Yi-hang,ZHANG Lu-ming,et al. A range of failure is isolated circuit breaker controller[P]. China Patent:201110104084.X,2011-08-31.
- [9] 顾霓虹,王章启.配电自动化开关设备[M].北京:中国电力出版社,1995.  
GU Ni-hong,WANG Zhang-qi. Distribution automation switchgear[M]. Beijing:China Electric Power Press,1995.
- [10] 史燕琨,邹积岩,孙福杰.一种实用的配电自动化模式[J].高压电器,2003,39(1):48-50.  
SHI Yan-kun,ZOU Ji-yan,SUN Fu-jie.A practical mode of distribution automation system[J]. High Voltage Apparatus,2003,39(1):48-50.
- [11] 杨国田.摩托罗拉68HC12系列微控制器原理、应用与开发技术[M].北京:中国电力出版社,2003.  
YANG Guo-tian. Motorola 68HC12 series of microcontrollers principle, application and development of technology[M]. Beijing:China Electric Power Press,2003.
- [12] 陈冬,徐文立,夏遂华.液晶显示多层菜单结构的软件设计[J].电气传动,2001(4):56-59.  
CHEN Dong,XU Wen-li,XIA Sui-hua.Methods of using matrix LCD to display multi level menus[J]. Electric Drive,2001(4):56-59.

- [13] 张壬寅, 夏锦胜. 基于 DSP 平台的中低压微机保护装置[J]. 电力自动化设备, 2005, 25(9): 80-83.  
ZHANG Ren-yin, XIA Jin-sheng. Research on DSP-based protective device for mid/low-voltage power system [J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25(9): 80-83.
- [14] 武建文, 廉世军. 一种具有故障隔离及锁定功能的微机型分界保护开关 [C]//2007 中国继电保护及自动化行业年会论文集. 河南: 中国电器工业协会继电保护及自动化设备分会, 2007: 209-212.  
WU Jian-wen, LIAN Shi-jun. A kind of fault isolation and lockout features microprocessor-based protection boundary switch [C]//2007 Annual Conference on Relay Protection and Automation in China. Henan: Relay Protection and Automation Equipment Branch of China Electrical Equipment Industrial Association, 2007: 209-212.
- [15] 武建文, 许 晶. 配电系统耐热量降低法微机反时限电流保护[J]. 航空学报, 2008, 29(1): 181-186.  
WU Jian-wen, XU Jing. Inverse-time over-current protection based on the theory of decreasing value of thermal resistance in electric power distribution system [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2008, 29(1): 181-186.
- [16] 徐厚东, 黄益庄, 付 铭. 微机反时限过流保护算法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2006, 46(1): 1-4.  
XU Hou-dong, HUANG Yi-zhuang, FU Ming. Microprocessor-based inverse time over-current protection algorithm [J]. Journal of Tsinghua University, 2006, 46(1): 1-4.
- [17] 严支斌, 尹项根, 邵德军, 等. 新型微机反时限过流保护曲线特性及算法研究[J]. 继电器, 2005(8): 44-46.  
YAN Zhi-bin, YIN Xiang-gen, SHAO De-jun, et al. Research on curve characteristics and algorithms of new digital inverse-time overcurrent protection [J]. Relay, 2005 (8): 44-46.
- [18] BENMOUYAL G. Design of a digital multi-curve time-overcurrent relay [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1990 (5): 1725-1731.
- [19] 武建文, 王小波, 张少渤, 等. 一种终端用户开关柜微机保护装置[J]. 高压电器, 2004, 40(2): 132-134.  
WU Jian-wen, WANG Xiao-bo, ZHANG Shao-bo, et al. A microcontroller-based protection unit for switchgear of terminal users [J]. High Voltage Apparatus, 2004, 40(2): 132-134.
- 孙一航(1982—), 男, 博士研究生, 主要研究方向为智能电器。  
武建文(1963—), 男, 博士生导师, 教授, 从事智能电器控制及电力系统配电自动化的研究。  
孔祥军(1963—), 男, 高级工程师, 从事高压开关设备试验检测及标准制修订工作。  
廉世军(1971—), 男, 高级工程师, 从事智能电器方面的研制工作。  
张路明(1980—), 男, 工程师, 从事电力自动保护装置的研制工作。

## 简 讯

## ABB 开发高压直流断路器, 打造未来电网

瑞士苏黎世, 2013 年 2 月 25 日——美国著名的麻省理工学院(MIT)出版的《麻省理工科技创业》杂志最近评选出 2013 年度全球创新企业 50 强, ABB 榜上有名。英特尔、IBM、苹果、三星、谷歌、Facebook、亚马逊等同时入选全球创新 50 强。

全球领先的电力和自动化集团 ABB 由于 2012 年在直流断路器研发领域取得的技术突破获此殊荣。这一技术解决了电力工程领域的百年难题, 为打造更加高效可靠的新一代电力传输网络铺平了道路。经过数年的研究, ABB 开发出了世界上第一台高压直流断路器, 将机械动力学与电力电子设备相结合, 可以在 5 毫秒之内断开一所大型发电站的输出电流, 其速度比人类眨眼的瞬间还要快 30 倍。

这项突破扫除了直流输电网络发展的百年障碍, 使大规模可再生能源的高效集成和交换以及建设全新高效电网进行远距离电力传输成为可能。直流电网将提高电网的可靠性, 增强现有交流电网的输电容量。目前 ABB 正与公用电力部门探讨新技术的试点项目。

ABB 集团首席技术官 Prith Banerjee 表示: “ABB 集团这项历史性的技术突破将助力打造未来电网, 推动实现可再生能源的并网整合。我们非常自豪这一创新获得《麻省理工科技创业》的认可。直流电网可实现国家与国家、洲与洲之间的联网, 平衡电力负载, 并增强现有交流电网的输电能力。”

开发混合式高压直流断路器是 ABB 集团的旗舰性研究项目。ABB 集团去年研发投入逾 14 亿美元, 拥有约 8000 名科研人员。

高压直流输电技术可以实现水电站远距离电力传输、离岸风电并网、太阳能项目的发展、不同电力网络间的互连。早在 60 年前, ABB 率先发明了高压直流输电技术, 至今仍是这一领域的技术驱动者和市场领导者。ABB 在全世界范围内承建了 70 多个高压直流项目, 占全球高压直流项目约一半, 传输电量总计超过 60,000 兆瓦。